

Ivana MAHDALOVÁ¹, Tomáš SEIDLER², Denisa CIHLÁŘOVÁ³

VLIV GEOMETRIE OKRUŽNÍ KŘIŽOVATKY NA JEJÍ BEZPEČNOST

INFLUENCE OF ROUNDABOUT GEOMETRY ON ITS SAFETY

Abstrakt

Katedra dopravního stavitelství Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava aktuálně řeší dvouletý výzkumný projekt Ministerstva dopravy „Vliv geometrie stavebních prvků na bezpečnost a plynulost provozu na okružních křižovatkách a možnost predikce vzniku dopravních nehod“. V článku jsou prezentovány některé zajímavé dílčí výsledky výzkumu nehodovosti na okružních křižovatkách a možné příčiny vzniku dopravních nehod plynoucí ze stavebního uspořádání.

Klíčová slova

Okružní křižovatka, bezpečnost dopravy, dopravní nehoda, relativní nehodovost, příčiny nehod.

Abstract

The Department of Transport Constructions, VŠB - TU of Ostrava is solving two years long project, which is assigned by The Transport Department and it is called: Influence of structural elements geometry on safety and fluency of operation on roundabouts and possibility of rise crashes prediction. There are presented partial results of the accidents research in the paper. Also there are presented possible accidents causes resulting from geometrical lay-out.

Keywords

Roundabout, traffic safety, traffic accident, relative accident frequency, accident causes.

1 ÚVOD

Bezpečnost dopravy na pozemních komunikacích je v současnosti stále aktuálním tématem a jejímu zajištění je věnována zvýšená pozornost. Prosazuje se myšlenka, že komunikace mají být vysvětlující a odpouštějící. To znamená, že řidič má mít možnost snadno a správně pochopit uspořádání komunikací i křižovatek a má být zajištěna minimalizace následků případného lidské selhání.

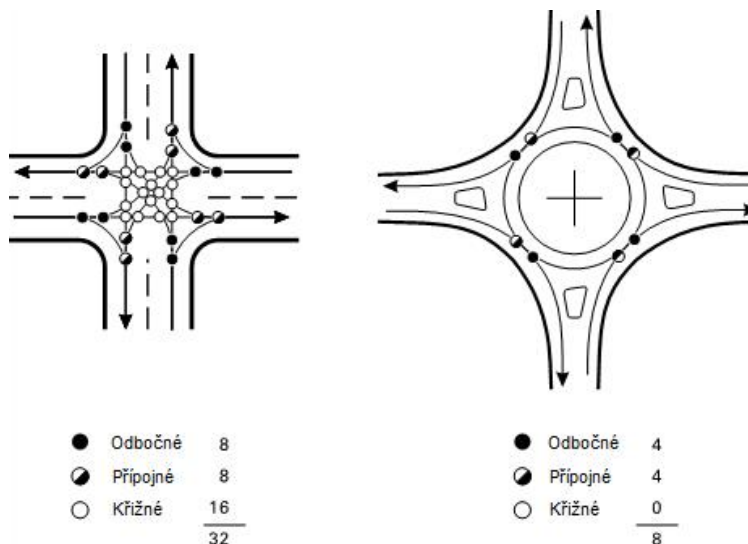
Jednou z bezpečných forem uspořádání křižovatek pozemních komunikací je okružní křižovatka. Správně navržená okružní křižovatka nutí řidiče projíždět po směrově zakřivené jízdni dráze dostatečně nízkou rychlostí tak, že je schopen dobře rozpoznat aktuální dopravní situaci na křižovatce a včas a vhodně na ni reagovat. Čtyřramenná okružní křižovatka má podstatně méně kolizních bodů ve srovnání s úroňovou průsečnou křižovatkou – viz Obr. 1, na okružní křižovatce je

¹ Doc. Ing. Ivana Mahdalová, Ph.D., Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 342, e-mail: ivana.mahdalova@vsb.cz.

² Ing. Tomáš Seidler, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 32? ???, e-mail: tomas.seidler@vsb.cz.

³ Ing. Denisa Cihlářová, Katedra dopravního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 32? ???, e-mail: denisa.cihlarova@vsb.cz.

tedy objektivně méně míst s potenciálem vzniku kolize vozidel. Zejména okružní křižovatky s jedním jízdním pruhem na okružním pásu a na vjezdech i výjezdech jsou principiálně nejbezpečnější z důvodu vyloučení křížných kolizních bodů, jejichž existence představuje největší bezpečnostní riziko s možností až čelního střetu vozidel a s důsledkem zranění nebo i smrti účastníků kolize. Na křižovatkách s více jízdními pruhy na okružním pásu se však již vyskytují křížné kolizní body při přejíždění mezi pruhy, což je příčinou mnohem vyšší pravděpodobnosti vzniku vzájemné kolize vozidel.



Obr.1: Kolizní body na průsečné a na jednopruhové okružní křižovatce

Kromě vyšší bezpečnosti uvnitř prostoru křižovatky má okružní křižovatka ve srovnání s klasickou úroňovou křižovatkou i další výhody. Při dostatečné kapacitě okružní křižovatky je minimalizována potřeba zastavení vozidel před vjezdem na okružní pás a tím je minimalizována možnost vzniku nehod nárazem zezadu do předcházejícího vozidla při vjezdu do křižovatky. Okružní křižovatka, na rozdíl od světelně řízené křižovatky, nevytváří cyklickou překážku dopravního provozu a je proto ve srovnání se světelně řízenou křižovatkou výrazně bezpečnější. Dále okružní křižovatka umožňuje současné napojení více paprsků a rovněž připojení sjezdů k sousedním nemovitostem přímo z křižovatky. Počet připojovaných vjezdů a výjezdů je podmíněn pouze dostatečně velkým vnějším průměrem křižovatky. Okružní křižovatka umožňuje eliminovat nevhodný úhel křížení a lze ji umístit i na vrchol vypuklého výškového oblouku, kde zřízení klasické úroňové křižovatky není možné z důvodu špatných rozhledových poměrů (například řidič při odbočování vlevo z hlavní komunikace má dávat přednost protijedoucím vozidlům, která jsou ale skryta za horizontem).

Pro výše zmíněné výhody jsou okružní křižovatky stále oblíbenější v České republice i v zahraničí. Dochází k přestavbám stávajících klasických úroňových křižovatek na okružní s cílem zvýšit bezpečnost dopravy. Na nově budovaných trasách komunikací a při připojování obchodních a průmyslových center je v současné době výstavba okružní křižovatky nejčastější volbou.

Ne vždy však splní okružní křižovatka očekávání na ni kladená. Při nevhodné volbě geometrického uspořádání návrhových prvků a vysokých intenzitách dopravy může být výsledkem realizace dokonce zvýšení nehodovosti v dané lokalitě. Na uvedenou problematiku je zaměřen výzkumný projekt Ministerstva dopravy Vliv geometrie stavebních prvků na bezpečnost a plynulost provozu na okružních křižovatkách a možnost predikce vzniku dopravních nehod, který v letech 2009 až 2010 řeší Katedra dopravního stavitelství Fakulty stavební VŠB-TU Ostrava ve spolupráci s firmou V-projekt, s.r.o.. V rámci výzkumu byla shromážděna data o dopravních nehodách na

okružních křižovatkách v ČR, které se staly v letech 2007 a 2008. Tato data byla získána z evidence Policie ČR. K vybraným okružním křižovatkám pak byly získány údaje o intenzitách dopravy. Následně byla na těchto vybraných křižovatkách hodnocena relativní nehodovost a její souvislost se stavebním uspořádáním. Hodnocený soubor tvoří celkem 99 tří až pětiramenných okružních křižovatek, z toho 86 jednopruhových a 13 dvupruhových, rozmístěných po celé republice. Výběr odpovídá poměrnému výskytu jednotlivých typů okružních křižovatek v ČR (nejvíce je čtyřramenných, méně než 10 % je vícepruhových).

2 SROVNÁNÍ NEHODOVOSTI NA JEDNOPRUHOVÝCH A DVOUPRUHOVÝCH OKRUŽNÍCH KŘÍŽOVATKÁCH

Při prováděném výzkumu bylo provedeno hodnocení relativní nehodovosti na okružních křižovatkách s jednoznačným závěrem. Jednopruhové okružní křižovatky, tedy ty s jedním pruhem na okružním pásu i na vjezdech a výjezdech, jsou významně bezpečnější než vícepruhové okružní křižovatky, tedy ty s více (v ČR nejčastěji se dvěma) jízdními pruhy na okružním pásu a případně i na vjezdech a výjezdech. V případě dvupruhových okružních křižovatek zahrnutých do výzkumu se jednalo vždy o klasické uspořádání se dvěma souběžnými jízdními pruhy na okruhu. Moderní uspořádání takzvaných turbo-okružních křižovatek, které mají mít vyšší bezpečnost, nebylo možno statisticky hodnotit, protože v ČR existuje dle dostupných údajů zatím pouze jediná realizace takovéto neřízené křižovatky v Brně a nově od září 2010 také světelně řízená okružní křižovatka v Havířově, která vznikla přestavbou z původní klasické dvupruhové.

Tab.1: Relativní nehodovost na okružních křižovatkách v období let 2007 - 2008

Počet jízdních pruhů na okružním pásu	Průměrná relativní nehodovost na okružní křižovatce [počet nehod / milion vozidel]	Počet hodnocených okružních křižovatek v uvedené kategorii
1	0,50	86
2	2,19	13

Tab.2: Orientační maximální kapacita okružních křižovatek podle [1]

Typ křižovatky	Maximální hodinová kapacita [voz / hod]	Maximální celodenní kapacita [voz / den]
Okružní křižovatka s jedním pruhem na okružním pásu a jedním pruhem na vjezdu ^{a)}	2 000 – 2 700	24 000 – 32 000
Okružní křižovatka s dvěma pruhy na okružním pásu a dvěma pruhy na vjezdu ^{a)}	2 500 – 3 500	30 000 – 40 000
^{a)} V závislosti na intenzitách jednotlivých dopravních proudů.		

Výsledky získané porovnáním zkoumaných křižovatek přesvědčivě ukazují, že relativní nehodovost, t.j. počet nehod na 1 milion vozidel vjíždějících do křižovatky, je na dvoupruhové okružní křižovatce v průměru 4,4 krát vyšší než na jednopruhové okružní křižovatce – viz Tab. 1. Existuje zřejmá souvislost vyšší nehodovosti s vyšším počtem kolizních bodů a s existencí křížných kolizních bodů na dvoupruhové okružní křižovatce ve srovnání s jednopruhovou. Přitom kapacita dvoupruhových okružních křižovatek je ve srovnání s jednopruhovými jen asi 1,3 krát vyšší – viz Tab. 2. Přitom právě z důvodu vyšší kapacity jsou vícepruhové okružní křižovatky navrhovány. Lze tedy konstatovat, že o málo vyšší kapacita dvoupruhových okružních křižovatek je provázena mnohonásobně vyšší nehodovostí ve srovnání s jednopruhovými okružními křižovatkami.

3 MALÁ = BEZPEČNÁ?

Bezpečnost okružní křižovatky, jak již bylo v úvodu zmíněno, spočívá zejména v tom, že směrové zakřivení jízdní dráhy nutí řidiče snížit rychlost na vjezdu a tím zlepšuje možnost účastníků dopravního provozu adekvátně reagovat na aktuální dopravní situaci. Případné kolize při nízkých rychlostech nemívají obvykle závažné následky a v zásadě převažují hmotné škody. Faktem je, že ve sledovaném období let 2007 a 2008 byly Policií na okružních křižovatkách v ČR zaznamenány pouze 3 nehody s následkem smrti. Nicméně celkový počet nehod rozhodně není zanedbatelný. Situaci přehledně popisuje Tab. 3.

Tab.3: Celkový počet nehod a zranění na OK v ČR evidovaných Policií ČR za období let 2007-2008

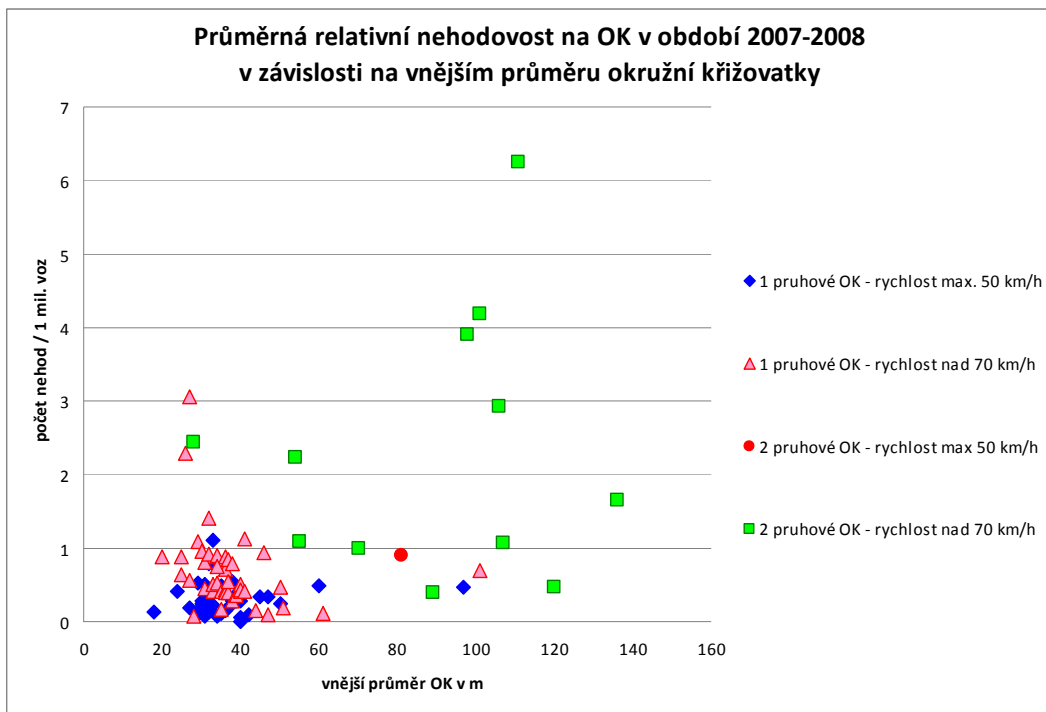
Počet jízdních pruhů na okružním pásu	Rok	Celkový počet nehod za rok	Celkový počet zranění za rok	Podíl zranění na počtu nehod	Počty zranění dle druhu		
					smrtelná	těžká	lehká
1	2007	1087	124	11,4 %	1	10	113
	2008	1063	179	16,8 %	1	27	151
≥ 2	2007	954	41	4,3 %	0	1	40
	2008	857	55	6,4 %	1	8	46

Pozn.: Důvodem nízkého podílu zranění při nehodách na vícepruhových okružních křižovatkách je zřejmě skutečnost, že převažují boční srážky při přejíždění mezi pruhy s pouze hmotnou škodou a že je zde minimální výskyt chodců, jejichž účast na nehodě je provázena vždy minimálně lehkým zraněním.

V řadách laické, ale i části odborné veřejnosti často převládá názor, že okružní křižovatky s malým vnějším průměrem jsou správnou volbou pro dosažení vyšší bezpečnosti provozu. Je logické, že při větších průměrech okružní křižovatky se významně zvyšují i dosahované jízdní rychlosti na okružním pásu a tím také pravděpodobnost vzniku závažnějších kolizí. Při použití okružní křižovatky o malém vnějším průměru je však nutno navrhnout dostatečně široký okružní jízdní pás tak, aby byl bezpečně průjezdný i pro velká vozidla. To má pak za následek vybudování středového ostrova o velmi malém průměru, který neposkytuje dostatečnou směrovou odchylku pro osobní vozidla a umožňuje jim téměř či zcela přímý průjezd. Řidiči si totiž při průjezdu okružní křižovatkou podvědomě (i vědomě) volí nejplošší možnou dráhu umožňující jízdu co nejvyšší rychlostí a minimalizaci časové ztráty. V rámci výzkumu jsme posuzovali jízdní dráhy vozidel, které jsou dobře patrné na leteckých snímcích okružních křižovatek, a které tuto skutečnost jednoznačně potvrzují [2]. Pro snížení rychlosti na okružní křižovatce tak nejsou rozhodující geometrické hodnoty

jako poloměr vjezdu, vnější průměr okružní křižovatky a středového ostrova, ale jejich vzájemné uspořádání ovlivňující trajektorie vozidel a dosažitelné maximální jízdní rychlosti. Zásadně je tedy potřeba hodnotit geometrii jízdních drah, jak to doporučuje například [4].

Je tedy možno konstatovat, že paradoxně malý vnější průměr okružní křižovatky může být příčinou nepřiměřeně vysokých jízdních rychlostí a následně dopravních nehod se závažnými následky. Náš výzkum ostatně neprokázal žádnou jednoznačnou příčinnou souvislost mezi velikostí vnějšího průměru a výskytem nehod – viz graf na Obr. 2.



Obr.2: Průměrná relativní nehodovost na sledovaných OK v závislosti na vnějším průměru s rozlišením dle dosahovaných jízdních rychlostí vozidel

4 RIZIKOVÉ FAKTORY PRO BEZPEČNOST OKRUŽNÍ KŘIŽOVATKY

Z grafu na Obr. 2 vyplývá, že bezpečnost okružní křižovatky je zřejmě podmíněna i jinými faktory, než jen samotnou velikostí vnějšího průměru. Záleží totiž na tom, jaké je dopravní zatížení v místě, jaké jsou rychlostní charakteristiky pozemních komunikací na příjezdových úsecích před vlastní křižovatkou a jaké je geometrické uspořádání konkrétní okružní křižovatky.

Vysoké intenzity dopravy, výrazně překračující kapacitu okružní křižovatky, představují riziko z toho důvodu, že se na vjezdech tvoří fronty, ve kterých dochází často ke kolizím nárazem zezadu do stojících vozidel nebo při popojíždění v koloně.

Významným rizikovým faktorem je umístění okružní křižovatky v místech, kde je na komunikacích v navazujících úsecích vyšší dovolená rychlost. Zejména rychlost 70 km/h a více na příjezdu k okružní křižovatce je významným prvkem ovlivňujícím nehodovost. Dochází totiž k situaci, kdy řidič musí na krátkém úseku výrazně snížit rychlost pro bezpečné vjetí na okružní pás – viz Obr. 3.



Obr.3: Snižování rychlosti na příjezdu po silnici R35 od Mohelnice k okružní křižovatce na okraji Olomouce (R35 pokračuje ostře prvním výjezdem)

Situace je tím horší, čím vyšší je rozdíl mezi rychlostí na příjezdu a rychlostí potřebnou pro bezpečný průjezd okružní křižovatky, která se snižuje s klesající velikostí vnější průměru křižovatky. Podle článku 5.2.1.5 v TP 135 [3] se na vjezdu do okružní křižovatky o vnějším průměru do 50 m uvažuje s návrhovou rychlostí 30 km/h, na okružních křižovatkách o průměru nad 50 m se uvažuje s návrhovou rychlostí 50 km/h. Ve skutečnosti může být reálná rychlost potřebná pro bezpečný průjezd po okružním pásu křižovatky podstatně nižší – viz Tab. 4.

Tab.4: Přibližné hodnoty rychlosti dosažitelné při jízdě po okružním pásu směrem ke třetímu výjezdu v závislosti na vnějším průměru okružní křižovatky podle [4]

Vnější průměr okružní křižovatky [m]	Přibližná hodnota poloměru jízdní dráhy na okružním pásu [m]	Přibližná rychlost jízdy na okružním pásu [km/h]
30	11	21
35	13	23
40	16	25
45	19	26

V důsledku velké diference mezi rychlostí na příjezdu a rychlostí potřebnou pro průjezd okružní křižovatky může dojít k následujícím nehodám:

- Řidič nesníží rychlost vůbec nebo jen málo, nezvládne vjezd do okružní křižovatky a najede do středového ostrova s možností nárazu do pevné překážky (sloup veřejného osvětlení, dekorativní prvky, okrasné zídky).

- Řidič nesníží dostatečně rychlost, takže zvládne ještě průjezd vjezdem (pravostranný směrový oblouk), ale pak už nezvládne další směrovou změnu pro jízdu po okruhu (levostranný oblouk) a vyjede ven z okružního pásu s možností nárazu do pevné překážky umístěné vně křižovatky (sloup veřejného osvětlení, strom, zábradlí).
- Řidič sníží rychlost před vjezdem, ale ne dost na to, aby zvládl průjezd kolem malého vjezdového poloměru, a dochází k pojíždění a devastaci obrubníků a případných dalších prvků (směrové sloupky, dopravní značky, sloupy veřejného osvětlení) na vnější straně vjezdu. Podle zákona se jedná o nehodu, protože dochází k poškození cizího majetku, byť tyto nehody často nebývají hlášeny.
- Řidič vozidla před vjezdem adekvátně sníží rychlost, ale řidič dalšího vozidla včas nezareaguje a narazí do předchozího vozidla zezadu.

Výzkum prokázal vliv hodnoty dosažitelné rychlosti na příjezdu k okružní křižovatce na nehodovost. Přitom není rozhodující, zda je nejvyšší dovolená rychlost omezena dopravním značením. Podstatné je uspořádání komunikace umožňující jízdu vyšší rychlostí. V rámci posouzení byla okružní křižovatka zařazena do rychlostní kategorie ≥ 70 km/h, pokud alespoň jeden vjezd umožňuje příjezd ke křižovatce rychlostí 70 km/h nebo větší. Výsledky posouzení jsou přehledně sestaveny v Tab. 5.

Tab.5: Průměrná relativní nehodovost v období let 2007 – 2008 na sledovaných okružních křižovatkách podle rychlosti na komunikacích před křižovatkou

Počet jízdních pruhů na okružním pásu	Rychlost před křižovatkou [km/h]	Průměrná relativní nehodovost na OK [počet nehod / milion vozidel]	Počet hodnocených OK v uvedené kategorii
1	≤ 50	0,34	45
	≥ 70	0,68	41
2	≤ 50	0,91	1
	≥ 70	2,49	12

Pozn. Dvoupruhové okružní křižovatky jsou v lokalitách s rychlostním limitem max. 50 km/h navrhovány jen výjimečně.

5 VLIV POČTU PAPERKŮ NA NEHODOVOST

Vycházíme-li z předpokladu, že vyšší počet kolizních bodů má za následek vyšší nehodovost v křižovatce, jak je to patrné u dvoupruhových okružních křižovatek, měla by růst nehodovost i v závislosti na rostoucím počtu paprsků okružní křižovatky. Tato závislost se výzkumem skutečně potvrdila a výsledky tohoto hodnocení jsou uvedeny v Tab. 6. Počet pětiramenných okružních křižovatek, s ohledem na jejich procentuálně nízké zastoupení mezi okružními křižovatkami v ČR, není dostatečný pro statistické vyhodnocení. V segmentu čtyřramenných křižovatek je dobře patrné zvýšení relativní nehodovosti o cca 30 až 50 % ve srovnání s tříramennými okružními křižovatkami v téže kategorii.

Tab.6: Průměrná relativní nehodovost v období let 2007 – 2008 na sledovaných okružních křižovatkách v závislosti na počtu paprsků a příjezdové rychlosti

Počet jízdních pruhů na okružním pásu	Rychlost před křižovatkou [km/h]	Průměrná relativní nehodovost na OK [počet nehod / milion vozidel]			Počet hodnocených OK v uvedené kategorii		
		Počet paprsků na okružní křižovatce			Počet paprsků na okružní křižovatce		
		3	4	5	3	4	5
1	≤ 50	0,29	0,40	0,24	20	23	2
	≥ 70	0,54	0,70	0,85	6	33	2
2	≤ 50	--	0,91	--	--	1	--
	≥ 70	1,73	2,68	1,0	3	8	1

6 ZÁVĚR

Z dosavadních výsledků výzkumu vyplývá, že bezpečnost okružních křižovatek je skutečně ovlivněna celkovou geometrií, nikoliv však samotnými hodnotami zvoleného vnějšího průměru či vjezdových a výjezdových poloměrů. Významný vliv na bezpečnost má počet jízdních pruhů a počet paprsků křižovatky, tedy faktory, které ovlivňují počet kolizních bodů v křižovatce. Dále pak byl prokázán zřejmý vliv vyšších příjezdových rychlostí v úsecích před křižovatkou na zvýšení nehodovosti.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za finančního příspěví Ministerstva dopravy ČR jako součást řešení výzkumného projektu č. CG911-008-910 Vliv geometrie stavebních prvků na bezpečnost a plynulost provozu na okružních křižovatkách a možnost predikce vzniku dopravních nehod.

LITERATURA

- [1] BARTOŠ, L. *Návrh TP XXX Posuzování kapacity okružních křižovatek*. EDIP s.r.o., Praha, Projednání návrhu TP 16. 6. 2010.
- [2] CIHLÁŘOVÁ, D., MAHDALOVÁ, I. a SEIDLER, T. Porovnání vybraných okružních křižovatek v ČR s USA standardy. In *Sborník anotací konference JUNIORSTAV 2100*. Brno : VUT v Brně, Fakulta stavební, 2010, s. 171 + CD. ISBN 978-80-214-4042-5.
- [3] MALINA, T. *TP 135 Projektování křižovatek na silnicích a místních komunikacích*. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2005. 32 s. Technické podmínky Ministerstva Dopravy.
- [4] ROBINSON, B.W. and comp. *Roundabouts: An Informational Guide*. Virginia : U.S. Department of Transportation – Federal Highway Administration, 2000.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Michal Radimský, Ph.D., VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací.